

# LE DEVELOPPEMENT DE LA METHANISATION EN AFRIQUE SOUDANO-SAHELIENNE. QUELQUES REFLEXIONS.

JL. Farinet et F. Forest  
CIRAD Département IRAT  
Avenue d'Agropolis  
BP 5035  
34032 Montpellier Cédex

## I. INTRODUCTION

### UN CONTEXTE PARTICULIEREMENT FAVORABLE

La valorisation énergétique de la biomasse en zone tropicale a toujours retenu l'attention des experts du fait de l'importance du gisement et des potentialités du climat. La réalité agricole est en fait tout autre, notamment dans la zone soudano-sahélienne. La figure 1 montre qu'en année favorable, les rendements céréaliers en culture pluviale varient de 1 à 13 quintaux/ha, laissant peu de place à une valorisation significative des résidus de récolte. A cette faible productivité agricole, il est aisé d'associer, outre les aspects climatiques, une très faible consommation d'énergie et de fertilisants. Tout processus de développement agricole durable, évidemment nécessaire pour répondre aux enjeux démographiques, devra s'accompagner d'un accroissement notable de cette consommation.

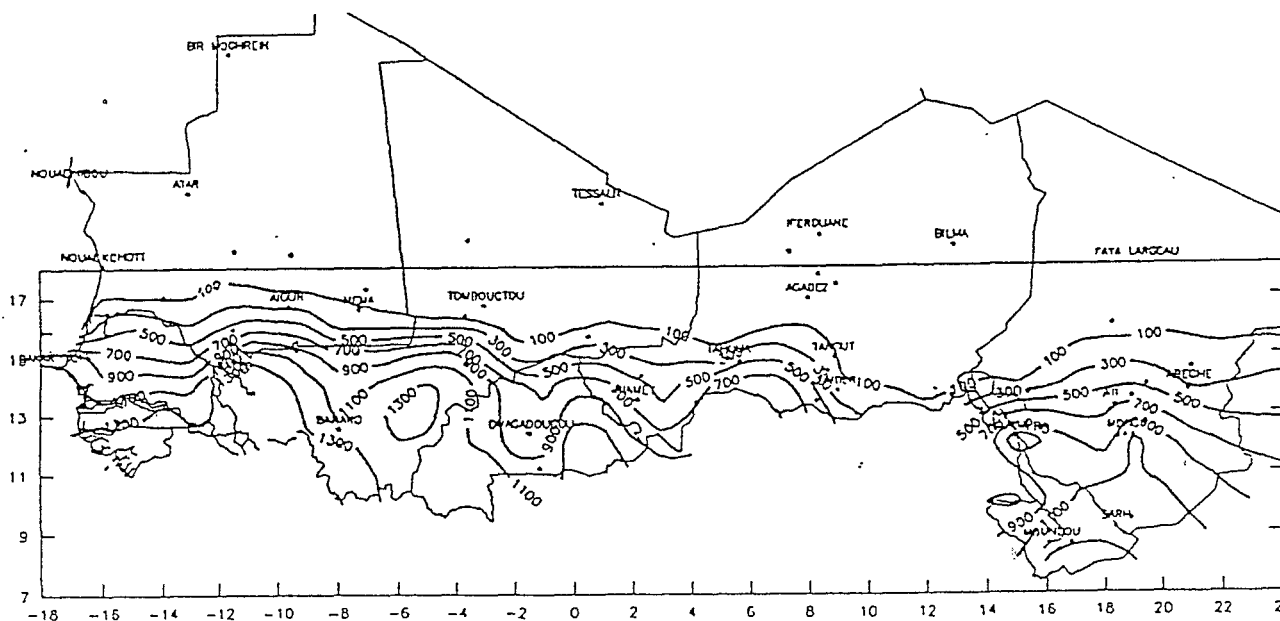


Figure 1 - Potentiel de rendements espérés en mil grain.  
Afrique soudano-sahélienne, campagne agricole 1989 (source :  
réseau ESPACE).

Les préoccupations actuelles en matière d'environnement, et notamment d'émissions de gaz à effet de serre, n'ont fait que renforcer l'idée d'une meilleure prise en compte des énergies renouvelables dans les processus de développement. En effet, l'intensification agricole conjuguée à la valorisation énergétique de la biomasse conduisent à une réduction des émissions nettes de gaz à effet de serre, par rapport à l'utilisation des énergies fossiles. Il faut cependant rappeler que ce résultat est uniquement basé sur le principe du déstockage temporaire du CO<sub>2</sub>, celui-ci étant en première approximation intégralement repris par la végétation qui repousse après récolte.

*Les filières sèche et humide de valorisation énergétique de la biomasse s'appliquent préférentiellement selon le contexte écologique.*

Sur le strict plan énergétique, la filière sèche et plus particulièrement les techniques de combustion optimisée et de gazéification, est la plus efficiente. Le pouvoir calorifique inférieur de la lignine et de la cellulose est voisin de 4500 kcal/kg et ces techniques ont des rendements de conversion énergétique de l'ordre de 85%, permettant d'envisager une production nette de 3800 kcal/kg. Dans le meilleur des cas la filière humide et plus particulièrement la technique de méthanisation de la cellulose produira 300 l/kg de biogaz, soit approximativement 1660 kcal/kg (biogaz à 65% CH<sub>4</sub> - PCI = 5525 kcal/m<sup>3</sup>). La filière sèche est 2,3 fois plus efficiente sur le strict plan de la conversion énergétique.

Si l'on tient compte du contexte écologique, il convient toutefois de bien limiter l'application de la filière sèche. La pérennité des filières de conversion énergétique de la biomasse, de même que leurs impacts réduits sur l'effet de serre, sont liés à la conservation de la ressource. En d'autres termes, la biomasse est renouvelable si est maintenu le potentiel productif du milieu dans lequel elle est prélevée. Cet aspect particulier est très important en zone tropicale, l'agressivité du climat et la crise démographique étant les causes directes ou indirectes de multiples dégradations du milieu naturel.

Le risque est faible en zone tropicale humide, pour peu que la replantation soit effective. Il n'en est pas de même en zone de savane et en zone semi-aride, d'autant que l'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques ne doit jamais interférer avec une production alimentaire déjà problématique. Le maintien de la fertilité des sols est une condition essentielle de la conservation du milieu. Au sud du Sahara, ces sols de texture sableuse à sablo-argileuse sont pauvres en colloïdes organo-minéraux (Piéri, 1989). Les conditions climatiques sont favorables à la minéralisation rapide de la matière organique, qui n'est plus remplacée au rythme nécessaire. Le stock de matière organique dans le sol chute très vite sous culture et l'évolution du sol va alors s'accélérer et devenir de plus en plus physico-chimique (Mustin, 1987).

La fertilisation minérale permet de relever ou de maintenir le niveau de production à court terme, en compensant en partie les pertes. La figure 2 montre cependant qu'après quelques années, le capital humique n'étant pas maintenu, l'efficacité de l'engrais, et consécutivement les rendements, peuvent chuter à la moitié ou au tiers de leur valeur initiale (Pichot et al, 1981, Farinet et Sarr, 1989).

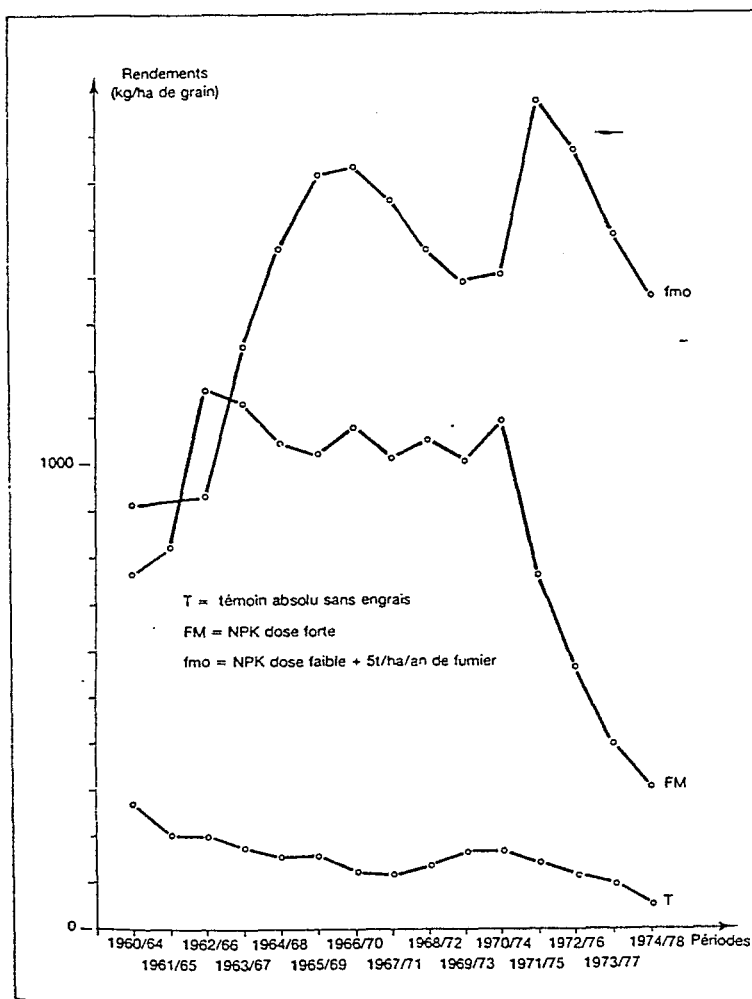


Figure 2 - Moyennes glissantes sur 5 ans des rendements d'une monoculture de sorgho. Saria, Burkina Faso (Piéri, 1989).

Sous la seule fertilisation minérale, le stock de matière organique des sols sous culture permanente peut diminuer à un rythme moyen annuel voisin de 4% pour les sols très sableux et 2% pour les sols limono-sableux (Piéri, 1989).

Sans préjuger des doses à appliquer, on conviendra de l'action positive et stabilisatrice d'un recyclage de la matière organique sur le maintien du potentiel de production de la biomasse en zone soudano-sahélienne. Ce recyclage doit aller de pair avec la suppression des carences minérales et des déséquilibres physico-chimiques.

C'est dans cette hypothèse que se justifie particulièrement la méthanisation, qui a l'avantage de produire de l'énergie en préservant une partie de la matière organique restituable sous forme de compost. La figure 3 montre que, dans la zone considérée, pour une surface donnée de culture céréalière, le rapport entre l'efficacité énergétique des filières sèche et humide passe de 2,3 à 1,4 si l'on tient compte du maintien de la productivité par apport de compost. La production alimentaire est par ailleurs 1,6 fois supérieure, tandis que l'impact sur l'effet de serre est réduit par 5,8 à production énergétique égale.

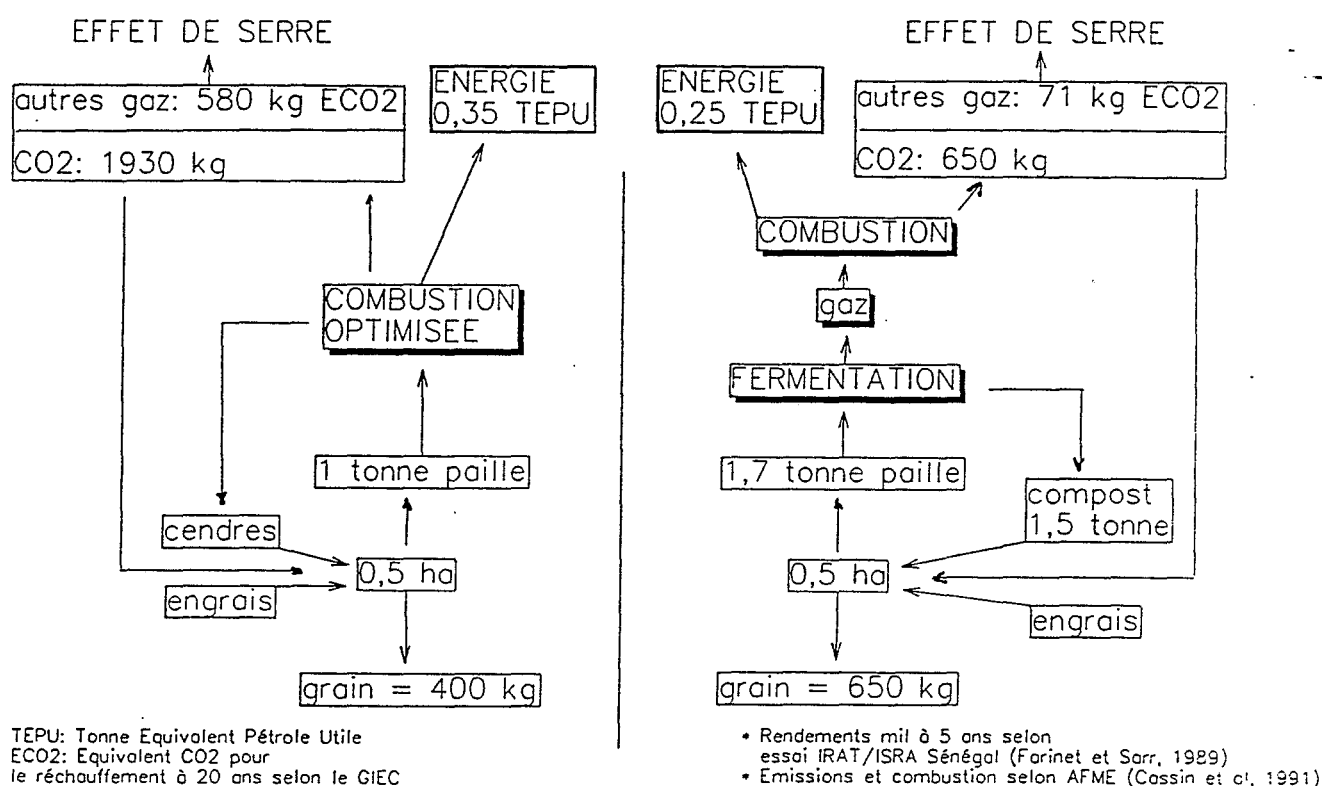


Figure 3 - Comparaison de l'efficacité énergétique et de l'impact sur l'effet de serre des filières sèche et humide de valorisation de la biomasse.

C'est donc dans la zone soudano-sahélienne que nous concentrerons nos réflexions en matière de développement de la méthanisation. Outre les arguments précédemment évoqués, le contexte y est particulièrement favorable du fait:

- d'un climat propice, avec des températures moyennes élevées favorables au développement spontané de la flore microbienne mésophile;

- de la cherté des énergies conventionnelles et de la quasi-absence de réseaux de distribution, favorables au développement de la production d'énergie décentralisée.

En dépit d'un exode prononcé vers les grands centres urbains au cours de ces dernières années, l'Afrique soudano-sahélienne est essentiellement rurale et c'est dans le secteur agricole et agro-industriel que se situe l'essentiel du potentiel de valorisation de la biomasse. Le problème de l'eau, les pratiques agricoles encore très extensives et les contraintes socio-économiques induisent des conditions très spécifiques de développement de la méthanisation.

## II. LA METHANISATION EN MILIEU RURAL

### II.1 La disponibilité de la biomasse

Les matériaux cellulosiques et particulièrement les résidus de récolte constituent l'essentiel de la ressource en sous produits agricoles disponibles. Dans certaines zones, comme le long du fleuve au Niger, on note la prolifération d'algues telle que la jacinthe d'eau. Les pratiques d'élevage en zone soudano-sahélienne sont encore largement extensives avec une prédominance des troupeaux de bovins transhumants et l'existence d'un petit bétail de case (ovins, caprins, équins). Ces pratiques sont cependant en constante évolution.

*La monétarisation des résidus de récolte conduit à leur exportation en dehors du système de production.*

D'une manière générale, on assiste actuellement à une crise entre les systèmes de production animal et végétal, qui étaient jusqu'alors pratiquement indépendants et cohabitaient sur la base d'un consensus mutuel. Comme dans l'Europe du XVIIIème siècle, la jachère disparaît dans les zones d'intensification. Mais paradoxalement, la culture fourragère ne se développe pas, au profit de l'exportation des résidus de récolte utilisés comme aliment du bétail. Le tableau 1 illustre la situation au Sénégal, à partir d'enquêtes réalisées de 1978 à 1980 dans 3 zones différenciées sur le plan de la pluviométrie. La fane d'arachide est totalement récoltée, stockée et fait l'objet d'une spéculation intense. De même les pailles de mil sont récoltées dans une proportion allant de 10 à 100% dans le bassin arachidier.

La situation a certainement empiré depuis. Sous l'effet de la "monétarisation" croissante des résidus de récolte, agriculture et élevage s'intègrent peu et restent, non seulement socialement, mais parfois géographiquement des

Zone	Culture	Paille (t./ha)	Exportation (%)	Disponible (t./ha)
Nord bassin	arachide	0,7-1,0	100	0
arachidier	mil	1,0-2,0	50-100	0
Sud bassin	arachide	0,7-1,7	100	0
arachidier	mil	1,7-3,0	10-15	1,0-2,5
Casamance	arachide	0,2-0,8	80-100	0
	mil	1,0-2,5	0-10	1,0-2,5
	sorgho	1,0-3,0	0-10	1,0-3,0
	maïs	2,5-4,0	0-10	2,5-4,0
	riz	0,2-0,8	0-10	0,2-0,8

Tableau 1 - Production et utilisations des résidus de récolte dans 3 zones climatiques du Sénégal (Allard et al, 1981).

spéculations distinctes. Ainsi les résidus de récolte prélevés en milieu rural sont ils couramment vendus à des citadins disposant de ressources financières. Ceux ci mettent en oeuvre des opérations ponctuelles (embouche), ou pérennes (lait) d'élevage intensif à proximité des centres urbains, qui constituent un débouché immédiat pour leur production. Le paysan de son côté confie son troupeau à un berger qui perpétue, de plus en plus difficilement, l'élevage transhumant. Ce schéma n'est heureusement pas généralisé, mais constitue une tendance inquiétante en matière de transfert de fertilité.

*Dans cette situation évolutive, quels peuvent être la place et le rôle de la méthanisation?*

L'exploitation agricole "modèle", intégrant un élevage basé sur la réutilisation des résidus de récolte, n'existe que de façon très marginale en Afrique soudano-sahélienne. Le risque climatique perpétuel induit un comportement du paysan basé sur le court terme, en privilégiant les revenus immédiats. Il est illusoire de vouloir modifier l'ordre logique des choses; l'intensification agricole ne peut que précéder le développement de la méthanisation. On ne s'attardera pas sur le nombre d'installations disséminées depuis la fin des années 70 dans plusieurs pays et qui n'ont jamais fonctionné faute d'un système de production agricole performant en amont. Ce constat réduit considérablement les perspectives à court terme de développement massif de la méthanisation en milieu rural.

On ne peut cependant ignorer certaines situations favorables, certes minoritaires, mais qui constitueront des références pour l'avenir. A notre avis, la stratégie actuelle de diffusion de la méthanisation en milieu rural doit être basée sur 2 concepts essentiels:

- elle ne doit s'adresser qu'à des systèmes de production affirmés, dans lesquels le risque aura été sérieusement diminué;

- le contexte doit être véritablement compétitif par rapport à d'autres utilisations des résidus agricoles et à d'autres modes d'approvisionnement énergétique.

Les grands projets d'aménagement agricole ont pour la plupart plus d'une quinzaine d'années d'existence. Les résultats obtenus en matière de productivité ne sont pas toujours à la hauteur des espérances, mais le risque agricole y est très diminué par rapport aux exploitations traditionnelles. Ce n'est qu'après plusieurs années d'encadrement, quand les techniques d'intensification sont acquises, que l'exploitant peut réellement prendre en compte les problèmes d'énergie et de maintien de la productivité.

## II.2 Contraintes d'exploitation

Lorsque les résidus agricoles sont effectivement disponibles, la méthanisation se heurte à 2 contraintes d'exploitation essentielles:

- la collecte, le transport et le stockage des résidus;
- l'utilisation rationnelle de l'énergie produite.

### *La mobilisation des résidus agricoles*

Seules les pratiques agricoles intensives en vigueur dans les zones d'aménagement peuvent induire une dynamique intérieure de mobilisation des résidus de récolte. Dans le delta du fleuve Sénégal par exemple, la double culture du riz nécessite impérativement la libération rapide des casiers pour les façons culturales. La paille de riz est récoltée puis brûlée ou commercialisée pour l'alimentation du bétail. Le bottelage mécanisé et la confection de meules sont des pratiques qui se développent peu à peu dans ce contexte.

Par ailleurs, l'intensification agricole réduit les parcours naturels et les possibilités de divagation du bétail. Le parage des animaux devient une pratique obligatoire. Le petit bétail de case est parqué dans l'exploitation, alors que des parages de nuit collectifs s'organisent pour les bovins, hors période de transhumance.

Dans ces conditions, la méthanisation peut également contribuer à l'amélioration des conditions sanitaires dans les villages. L'essentiel des entérobactéries pathogènes, des vers ronds et des enkylostomes contenus dans les excréments animaux sont détruits en anaérobiose prolongée. La seule collecte des matières animales diminue d'ailleurs la contagion par les insectes. La cuisson au biogaz est par ailleurs beaucoup moins nocive qu'au bois; des enquêtes effectuées en Inde ont montré une réduction notable des cas d'irritation oculaires et de bronchites (SEMA énergie, 1985).

## *L'utilisation de l'énergie*

La compétitivité de la méthanisation s'exprimera en premier lieu par rapport au vecteur énergétique. En effet, il semble difficile de donner une valeur économique réelle au compost, dont l'avantage réside essentiellement dans le maintien à moyen terme de la fertilité. Dans les aménagements agricoles, les activités consommatrices d'énergie motrice (pompage, battage, mouture, etc...) sont souvent centralisées, ce qui réduit les possibilités de substitution du biogaz aux carburants ou à l'électricité. Il semble en effet difficile de proposer une centralisation de la méthanisation, en connaissance des problèmes de gestion qui ne manqueront pas de se poser. A notre connaissance, aucune expérience de "biogaz collectif" ne s'est traduite par un succès en Afrique soudano-sahélienne et la dynamique communautaire est même très controversée en Chine et en Inde.

La production individuelle d'énergie domestique doit être privilégiée dans un premier temps et notamment la substitution du bois de feu. Dans la zone qui nous préoccupe, la situation est si grave qu'il ne s'agit plus d'optimiser l'utilisation du bois, mais bien d'y substituer un autre combustible. Le bois de feu est de plus en plus acheté, ce qui rend possible les calculs économiques. Le biogaz peut se heurter cependant à un concurrent innatendu: le butane importé et subventionné par les fonds internationaux! Mesure d'urgence sans doute, d'ailleurs surtout destinée aux consommateurs urbains, mais qui ne manque pas d'interférer avec la méthanisation en milieu rural, comme le montre l'étude de cas présentée pour la zone du delta du fleuve Sénégal.

Le programme de "butanisation" entrepris dans cette zone est efficace puisque le butane subventionné est sensiblement moins cher que le bois aux meilleures conditions. La situation de la méthanisation est caractéristique des énergies renouvelables: les charges variables de fonctionnement sont faibles (même négatives si l'on tient compte du compost), mais les coûts fixes d'amortissement sont très lourds dans ce contexte où la rareté du capital restreint les initiatives. Seule l'étude macro-économique des différentes filières, incluant les notions de dépendance, pourrait influencer les politiques d'aide en faveur de la production décentralisée de l'énergie.

### **II.3 Techniques disponibles**

Nous avons vu que les résidus végétaux et notamment les pailles de céréales constituaient l'essentiel de la biomasse valorisable en milieu rural. Les matières animales sont difficilement collectables du fait des pratiques d'élevage et ne constitueront qu'un appoint. Cet appoint est parfois nécessaire, il permet d'augmenter le rapport C/N et le pouvoir tampon du milieu. On peut considérer qu'un minimum de 20% en poids sec de matières animales est nécessaire à une meilleure stabilisation de la méthanisation.



## ETUDE DE CAS

### *La substitution du biogaz au bois de feu dans le delta du fleuve Sénégal*

(Source: SAED/AGRIFORCE - Rapport interne, 1991)

Le delta du fleuve Sénégal fait l'objet d'aménagement hydro-agricoles conséquents pour la culture du riz irrigué (7000 ha en 1989). La région est frappée de plein fouet par la déforestation, aggravée par l'afflux des migrants qui s'installent sur les casiers rizicoles.

Un projet a été initié en 1990 par une Société de développement sénégalaise, la SAED, sur un financement de la Caisse Centrale de Coopération Economique. La mise en oeuvre sur le plan technique en est assurée par le Gie AGRIFORCE. L'objectif consiste à assurer la couverture des besoins en bois de feu à partir de la méthanisation de la paille de riz et des excréments des animaux parqués. Des unités de méthanisation individuelles ont été mises en place et suivies au niveau de plusieurs exploitations. Les unités comprennent:

- un fermenteur continu suivant le principe "piston" (procédé TRANSPAILLE), d'une capacité utile de 3,5 m<sup>3</sup>;
- un gazomètre souple de stockage du biogaz d'une capacité de 2 m<sup>3</sup>;
- une cuisinière biogaz constituée d'un brûleur adapté intégré dans un foyer amélioré en terre cuite.

L'analyse économique réalisée fin 1991 dans le cadre d'une évaluation du projet montre que la méthanisation est en concurrence avec le bois et le butane qui sont vendus dans la zone du projet. L'analyse est résumée dans le tableau qui suit:

Combustible	Consommation annuelle	Prix unitaire(F)	Investissement (F)	Charges variables(F/an)	Charges totales(F/an)
BOIS 1	5500 kg	0,3	0	1650	1650
BOIS 2	5500	0,4	0	2200	2200
BOIS 3	4400	0,6	50	2640	2690
BUTANE 1	515 kg	3,0	230	1545	1591
BUTANE 2	515	4,5	230	2318	2364
BIOGAZ 1	1095 m <sup>3</sup>	0	34000	300	3133
BIOGAZ 2	1095	0	19000	300	1883
BIOGAZ 3	1095	0	19000	-400	1183

#### Légende:

- BOIS 1: bois à la charette    BOIS 2: bois au tas  
BOIS 3: bois vendu au prix préconisé par les experts pour en diminuer la consommation, avec foyer amélioré  
BUTANE 1: subventionné BUTANE 2: prix réel  
BIOGAZ 1: unité de méthanisation au prix actuel clé en main, capacité de production 3 m<sup>3</sup>/j et 3,5 tonnes compost/an, amortissement 12 ans  
BIOGAZ 2: unité de méthanisation fabriquée en série et subventionnée au prorata de la subvention accordée au butane (1 m<sup>3</sup> biogaz = 0,47 kg butane)  
BIOGAZ 3: idem biogaz 2, avec prise en compte d'un prix "reflet" du compost de 0.2 francs/kg

Le mélange pour l'obtention d'un fumier pailleux peut être obtenu par litiérage des parcs, technique peu pratiquée, ou lors du chargement du fermenteur. La composition d'un fumier constitué de 75% de paille de mil et 25% de matières animales sera en moyenne la suivante:

- taux de matières sèches (MS): 55%
- taux de matières organiques (MO): 85% de la MS
- éléments majeurs (en % de la MS):
  - N: 0,8 à 1,2%
  - P: 0,14 à 0,18%
  - K: 1,3 à 1,7%
  - Ca: 0,4 à 0,6%
  - Mg: 0,3 à 0,7%

Le substrat de méthanisation sera donc de consistance solide, ce qui restreint immédiatement l'éventail des techniques de méthanisation applicables.

#### *Des techniques basées sur la nécessaire contribution des résidus végétaux*

Se basant sur les modèles de développement du biogaz en Chine et en Inde, des techniques ont été importées de ces pays dans les années 70. Plus récemment ont été introduites des techniques utilisant des enveloppes souples en plastique, mises au point à Taïwan en 1974, et diffusées en Asie du Sud Est et en Amérique Centrale. Toutes ces techniques sont basées sur la méthanisation en continu en milieu liquide. L'eau doit être apportée en quantité suffisante pour assurer le transfert hydraulique de la matière. L'emploi de résidus végétaux est impossible sauf broyage préalable. La technique chinoise peut admettre des résidus végétaux en discontinu, mais l'opération de vidange est si pénible, qu'en Afrique, la cuve est plutôt alimentée en continu.

En Inde et en Chine, la biomasse méthanisée provient essentiellement des matières animales diluées; le taux de matières sèches dans le fermenteur est d'environ 8 à 10% et la granulométrie est faible. Le tableau 2 montre que pour la production de biogaz domestique, l'incorporation de résidus végétaux réduit par 6 la contrainte de l'élevage parqué, mais nécessite la mobilisation des résidus de récolte.

La contrainte de l'eau de dilution est également limitante, surtout lorsqu'elle nécessite des apports réguliers. En reprenant les résultats du tableau 2, la dilution à 10% de 20 kg MS de matières animales, récupérées à un taux voisin de 25% MS, nécessite 140 litres d'eau par jour.

---

Besoins domestiques d'une famille rurale: 3 m3 biogaz/j (Nord du Sénégal, familles de 20 à 25 personnes)

---

Rendement moyen de la fermentation à 30°C en 60 jours:

(essai Burkina Faso, Degoulet, 1984)

résidus végétaux: 185 l/kg MS (paille sorgho)

matières animales: 150 l/kg MS

mélange 80/20%: 200 l/kg MS

---

Besoins si matières animales seules: 20 kg MS/j

soit: 25 bovins en parquage de nuit

---

Besoins si mélange 80/20%: 15 kg MS/j dont:

3 kg MS matières animales

12 kg MS résidus végétaux

soit: 4 bovins en parquage de nuit et 2 ha céréales

---

Tableau 2 - *Matières nécessaires à la production de biogaz domestique avec et sans résidus végétaux.*

Technologies présumées adaptées, car diffusées à grande échelle dans d'autres pays en voie de développement, les modèles de fermenteurs indien et chinois se sont peu développés en Afrique soudano-sahélienne malgré de multiples tentatives. Avec la technique provenant de Taïwan, elles restent cependant des références dès que l'on dispose d'eau et de quantités suffisantes de matières animales.

*Actuellement 2 procédés sont appliqués à la méthanisation du fumier pailleux*

La méthanisation du fumier pailleux peut être conduite selon 2 modes d'alimentation du fermenteur:

- en discontinu, procédés issus des travaux de Isman et Ducellier en Algérie dès 1942. On signalera celui développé par le CIEH au Burkina Faso à partir de 1977;

- en continu ou semi-continu, suivant le principe des réacteurs à écoulement en régime "piston". Des procédés sont développés à l'échelle industrielle en Europe; on signalera en Afrique le procédé TRANSPAILLE, mis au point par l'IRAT en 1983.

Ces 2 procédés sont présentés dans les études de cas correspondantes. Ils sont au même niveau de diffusion "confidentiel": une quinzaine d'unités dans divers pays de la frange soudano-sahélienne. Un comparatif est donné tableau 3 en tenant compte des hypothèses suivantes:

- productivité pour du fumier pailleux et compte tenu des températures moyennes annuelles de la zone considérée;

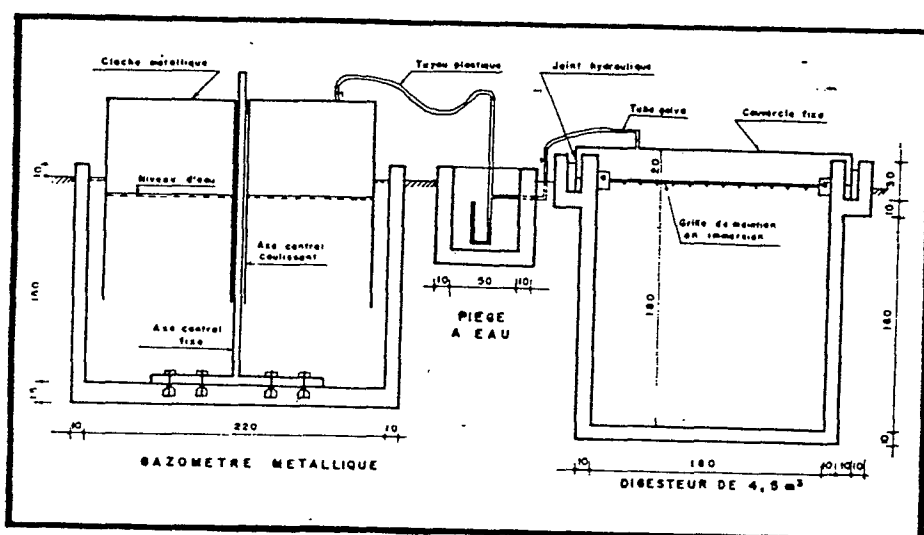
- coût estimé au m3 de cuverie installée, en valeur 1991, construction artisanale sur site pour le procédé CIEH et industrielle locale pour le procédé TRANSPAILLE.

## ETUDE DE CAS

### *Le procédé discontinu CIEH*

(Sources: CIEH, 1983; Degoulet, 1984)

Le procédé discontinu CIEH consiste à immerger le substrat dans une cuve en béton fermée par un couvercle métallique et à renouveler le contenu dès que la production de biogaz chute en dessous d'un certain niveau. Pour obtenir une production de biogaz stable, il est nécessaire de coupler au minimum 3 cuves en parallèle, dont les cycles sont décalés. Lors du renouvellement du contenu d'une cuve, le jus de fermentation est conservé, diminuant d'autant la consommation d'eau. Les cuves sont couplées à un gazomètre de stockage type cloche métallique ou PVC souple. La construction des cuves et leur maintenance sont réalisées par un artisan maçon préalablement formé.



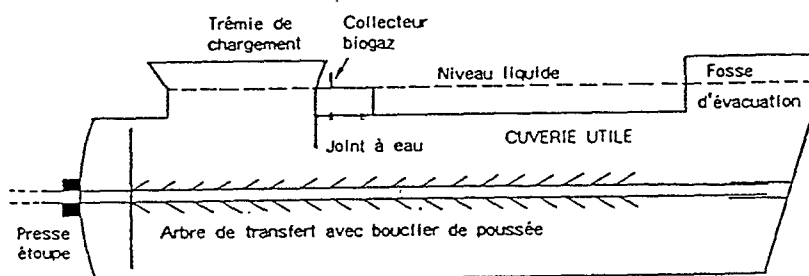
photo

## ETUDE DE CAS

### LE PROCEDE CONTINU TRANSPAILLE

(Source: Forest et al, 1984)

Le procédé continu TRANSPAILLE consiste en une cuve cylindrique métallique équipée d'une trémie de chargement et d'une fosse d'évacuation aux extrémités. A l'intérieur de la cuve, un dispositif de transfert actionné par un vérin et une pompe hydraulique manuelle permet la compression et le transit du substrat en immersion. Le processus est en fait semi-continu puisqu'on effectue généralement une charge par jour, qui entraîne l'évacuation d'un volume équivalent de substrat fermenté à l'autre extrémité de la cuve. Le jus de fermentation est permanent, la consommation d'eau est un peu supérieure au procédé discontinu du fait de l'évaporation à la trémie et à la fosse d'évacuation. Le fermenteur est couplé à un gazomètre de stockage PVC souple. La construction et la maintenance de la cuverie métallique sont confiées à la petite industrie locale.



photo

Procédés	Charge (kg MS/m <sup>3</sup> .j)	Tps séjour (j)	Productivité (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .j)	Coût (Frs/m <sup>3</sup> )
CIEH	1,7	60	0,3	1900
TRANSPAILLE	4,8	30	0,8	5000

*Tableau 3 - Comparaison des procédés de méthanisation CIEH et TRANSPAILLE*

Le procédé continu correspond en fait à une infinité de compartiments en discontinu. Les performances de méthanisation sont cependant supérieures du fait de l'absence des redémarrages successifs. La productivité et le coût au m<sup>3</sup> installée variant sensiblement dans le même rapport, le coût du biogaz est identique à production égale.

Le choix de l'un ou l'autre procédé sera fonction de la disponibilité de la main d'oeuvre. L'exploitation de 3 cuves en cycles décalés de 60 jours fait appel à une lourde charge de travail tous les 20 jours, alors que le procédé continu implique la disponibilité journalière d'une main d'oeuvre réduite (femmes et enfants).

#### II.4 Conclusions

La méthanisation en milieu rural a toujours été considérée comme un exemple de "technologie appropriée" dans les pays en développement. Lutte contre la déforestation, maintien de la fertilité et amélioration des conditions sanitaires sont les maîtres mots de son intérêt pour la collectivité. Des programmes de recherche-développement ont été identifiés dans plus de 45 pays, dont 4 ont véritablement atteint le stade de la diffusion à grande échelle (Chine, Inde, Brésil et Corée du Sud, d'après l'étude SEMA énergie, 1985).

En Afrique soudano-sahélienne, les potentialités de la méthanisation sont réelles en milieu rural. Encore faut il les appréhender en tenant compte des pratiques agricoles qui prévalent dans cette zone particulière.

A court terme, les systèmes de production intensifiés où le risque agricole est sérieusement atténué constituent des cibles privilégiées de développement. Les techniques existent sur la base d'une fabrication locale, par l'artisanat ou la petite industrie. Restent les aspects politico-économiques qui en conditionnent le développement. L'essoufflement des programmes est de règle, généralement au stade de la pré-diffusion, dès lors qu'une forte volonté gouvernementale n'est pas de mise comme par exemple en Chine.

Si l'on considère que la déforestation et la dépendance énergétique sont des fléaux à combattre, la substitution du bois de feu par le biogaz dans des zones agricoles bien identifiées, pourrait faire l'objet d'une aide spécifique,

visant à la mettre en marché par rapport aux autres mesures de lutte contre la déforestation.

A plus long terme, dans le cadre des programmes importants de développement des petits périmètres irrigués, les modules biogaz-compost-petite irrigation mis au point par la recherche agronomique tropicale devraient trouver une place significative. Une étude de cas décrit le principe de ces modules testés avec succès en milieu contrôlé au Sénégal et au Burkina Faso. Dans le contexte actuel, on peut parler de "mise en veille" pour ces modèles agricoles basés sur l'intégration de l'élevage et le recyclage des déchets.

### III. LA METHANISATION EN MILIEU AGRO-INDUSTRIEL

#### III.1 La contrainte environnementale

Nous nous limiterons dans ce paragraphe aux agro-industries productrices d'effluents ou de déchets humides susceptibles d'être méthanisés. Le terme agro-industrie est pris au sens large; nous distinguerons 2 groupes principaux en zone soudano-sahélienne:

- les opérations de la filière viande: élevage intensif et abattage contrôlé;
- les industries de transformation des produits agricoles: sucrerie/distillerie, conserverie, huilerie, etc...

Ces activités se développent pour la plupart à proximité des zones urbaines et la contrainte environnementale se fait de plus en plus sentir. Jusqu'à présent, le seul impact énergétique de la méthanisation, bien que non négligeable, était insuffisant pour convaincre des responsables peu confrontés au problème de leurs déchets. L'assainissement et la gestion des déchets domestiques et industriels sont en passe de devenir de réelles préoccupations pour les décideurs des pays en développement. Un pays comme le Sénégal étudie actuellement la restructuration de la zone industrielle de Dakar en vue de réduire la pollution et les nuisances. Certes, des mesures restrictives assorties d'aide pour le traitement des déchets et effluents ne seront pas prises avant plusieurs années, mais il convient d'ores et déjà de positionner les options technologiques adaptées.

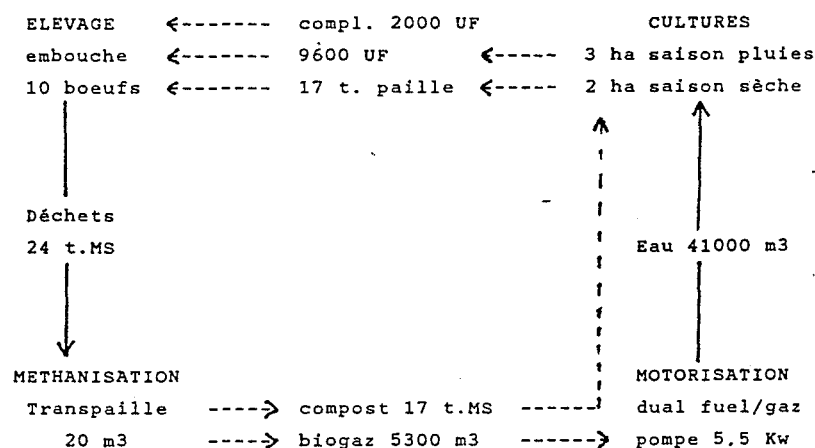
Les industries du 2ème groupe bénéficient déjà de technologies modernes dans leur procédé de production, avec un encadrement technique adéquat. Pour ces dernières et sous réserve d'une rentabilité effective, des techniques de méthanisation industrielles pourront être mises en oeuvre. Nous ne nous attarderons pas sur ces techniques qui sont décrites par ailleurs dans le présent ouvrage. Leur transfert peut

## ETUDE DE CAS

### *Les modules biogaz-compost-petite irrigation.*

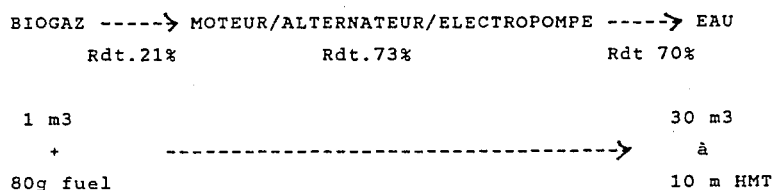
(Source: CIEH, 1983; Forest et Farinet, 1985)

Les modules biogaz-compost-petite irrigation ont été mis au point par le CIEH au Burkina Faso et l'ISRA au Sénégal, avec l'appui technique de l'IRAT/CIRAD et le soutien financier de l'AFME. Ces modules consistent à reproduire en milieu contrôlé (centres de recherche) une entité agricole idéale basée sur l'intégration de l'élevage, le recyclage des déchets par méthanisation et la petite irrigation alimentée au biogaz.



Le calcul des besoins en eau d'irrigation permet de caler ce type de module avec un système de cultures adapté et performant, en tablant sur une irrigation de complément des cultures céréalières en saison des pluies et une irrigation totale des cultures maraîchères et fourragères de saison sèche.

Pour la petite motorisation, les petits groupes électrogènes de 5 à 10 KVA alimentés en régime dual ont été privilégiés car offrant une grande souplesse d'utilisation. Ces groupes ont été mis au point en Inde et sont distribués par la société allemande Schule. La chaîne énergétique du pompage est la suivante:



Le compost est avantageusement apporté sur des cultures irriguées en association avec les doses d'engrais préconisées, assurant ainsi une efficacité maximum de l'amendement. Sur cultures maraîchères, une amélioration du rendement de l'ordre de 30% a été constatée pour des doses d'apport de 5 t.MS/ha de compost.

Les tentatives de pré-vulgarisation de ces modules au Burkina Faso, Niger, Sénégal et Soudan se sont heurtées à la structure actuelle des systèmes de production ruraux à faible technicité.



s'appuyer sur des références existantes dans les pays industrialisés.

La filière viande est dans une situation intermédiaire qui mérite une meilleure prise en compte du contexte local. L'élevage intensif ne bénéficie pas d'un véritable environnement industriel, quant à l'abattage contrôlé, il obéit à des pratiques différentes de celles des pays industrialisés. Ces activités sont caractérisées par le rejet de déchets et d'effluents à forte teneur en matières organiques et nous avons évoqué précédemment l'importance de cette matière organique pour le maintien de la fertilité des sols dans la zone considérée. La situation financière de cette filière est par ailleurs très fragile et la plupart des exploitants ne peuvent pas entreprendre d'importants investissements pour le traitement ou la valorisation de leurs déchets.

### III.2 La méthanisation des déchets de la filière viande

L'élevage intensif se développe principalement autour des villes et parfois même en zone péri-urbaine. L'aviculture, l'embouche bovine et ovine, ainsi que la production laitière sont les principales spéculations rencontrées. L'aviculture procède elle-même à l'abattage, alors que des abattoirs contrôlés sont en place pour les autres espèces animales. Les activités d'élevage intensif et d'abattage sont caractérisées par:

- la production d'effluents solides et/ou liquides à très forte charge organique, issus des opérations de nettoyage et peu ou mal valorisés;

- des besoins énergétiques clairement exprimés (chaleur, froid, force motrice) qui pèsent lourdement sur les charges d'exploitation lorsqu'ils sont couverts par les combustibles pétroliers et l'électricité du réseau;

- des possibilités d'investissement limitées, dans un contexte de marché difficile.

La marge d'intervention est très étroite et les solutions à faible coût d'investissement seront privilégiées. On peut à cet effet citer un extrait des conclusions de l'atelier "Valorisation agro-énergétique des déchets d'abattoirs en zone tropicale" qui s'est tenu à Thiès au Sénégal en Novembre 1991:

*"La synthèse des exposés, débats et analyses qui ont été menés au cours de ces 3 journées, révèle une préoccupation commune des responsables d'abattoirs, à savoir l'urgence de la mise en oeuvre de techniques de lutte contre la pollution et les nuisances. Face à ce constat, il a été souligné l'accuité des contraintes techniques et financières qui pèsent sur la gestion des abattoirs et qui constituent un frein majeur à l'acquisition et à la maintenance de stations d'épuration conventionnelles coûteuses et complexes à exploiter."*

Dans ce contexte, 2 voies principales peuvent être envisagées pour la méthanisation:

- la voie liquide: méthanisation directe des effluents par des procédés extensifs, tel que la fosse ou lagune anaérobie avec récupération du biogaz.

- la voie solide: séparation des déchets organiques à la source et méthanisation dans un procédé continu à forte charge de capacité réduite;

Pour la voie solide, l'utilisation d'un procédé discontinu est peu envisageable en milieu agro-industriel. En effet ce procédé entraînerait la manipulation ponctuelle d'une énorme quantité de déchets, peu compatible avec les moyens disponibles. Par ailleurs des effets de prise en masse ont été constatés, en l'absence de résidus végétaux, pour les grands volumes de cuverie.

Les 2 voies de méthanisation impliquent la mise en place d'un système d'épuration complémentaire des eaux en cas de rejet dans le milieu naturel. Ce système sera installé en parallèle sur les eaux déchargées pour la voie solide et en série sur les effluents méthanisés pour la voie liquide.

L'application de ces 2 voies de méthanisation est illustrée par 2 études de cas, l'une dans un élevage hors sol au Nord de la Côte d'Ivoire et l'autre dans un abattoir au Sénégal. Bien que les résultats moyens présentés dans ces 2 études de cas n'aient pas été obtenus dans les même conditions de mesure, la comparaison des paramètres de fonctionnement des 2 installations pilotes, établie tableau 4, illustre bien les principales différences entre les 2 voies de méthanisation.

VOIE	LIQUIDE	SOLIDE
Charge (kg MS/m <sup>3</sup> .j)	1,3	5,5
Temps de séjour (j)	56	20
Rendement (m <sup>3</sup> /kg MS)	0,204	0,161
Productivité (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .j)	0,26	0,88
Abattement MO (%)	40	84
Coût (F/kg MS/j)	552	1982
(F/kg MO élim./j)	1663	2776

Tableau 4 - Comparaison des principaux paramètres de méthanisation par voie liquide ou solide sur installations pilotes.

Grâce à un temps de rétention plus long, la voie liquide permet un meilleur rendement. L'abattement de la charge organique est cependant inférieur à celui de la voie solide. La collecte des déchets à la source décharge considérablement les eaux résiduaires, permet des économies d'eau et évite d'éventuelles inhibitions de la méthanisation par les produits de lavage utilisés dans les abattoirs.

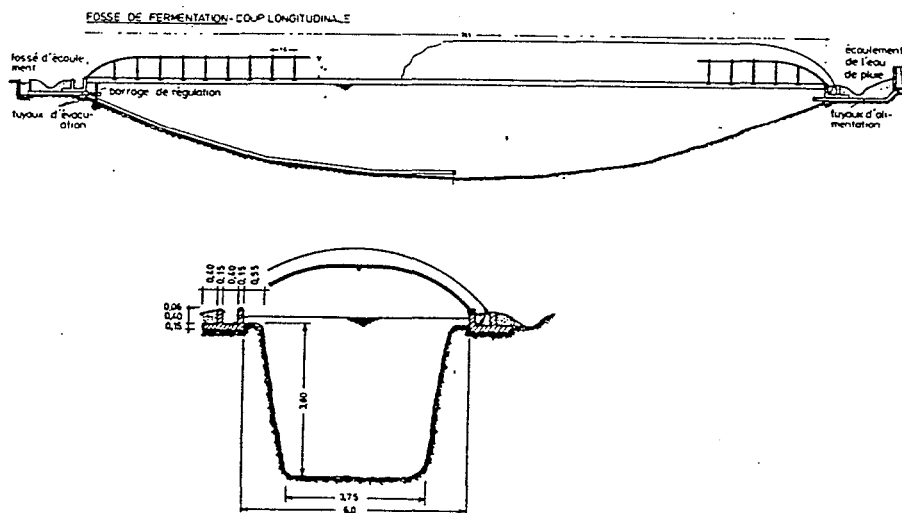
## ETUDE DE CAS

### *La voie liquide: méthanisation des effluents d'un centre d'embouche bovine en Côte d'Ivoire.*

(Source: Henning, 1984)

Le centre d'embouche bovine promu par la SODEPA est implanté à 20 kms de Ferkessedougou, dans le nord de la Côte d'Ivoire. Il regroupe une installation de quarantaine, 20 parcs d'embouche, une station de reproduction et un abattoir frigorifique. L'énergie nécessaire au centre est produite à partir de 5 groupes électrogènes diesel avec une puissance totale installée de 450 Kw.

En 1981, un projet pilote de méthanisation des effluents du centre a été financé par GTZ et exécuté par la société Oekotop. L'installation de méthanisation consiste en une fosse anaérobie de 400 m<sup>3</sup>, de forme allongée et creusée à même le sol sans revêtement d'étanchéité. La fosse est recouverte d'une bâche caoutchoutée extensible dont la bordure est immergée dans un caniveau périphérique rempli d'eau qui fait office de joint à eau. L'effluent provient du nettoyage à grande eau de 2 parcs de stabulation bétonnés (180 bovins). Il s'écoule gravitairement dans la fosse et l'effluent digéré est stocké dans un bassin pour une utilisation comme amendement liquide. Le biogaz produit alimente un groupe électrogène de 15 KW équipé d'un moteur à gaz.



#### Résultats moyens d'exploitation (1982/83):

- débit traité: 7,1 m<sup>3</sup>/j à 7,2% MS  
511 kg MS/j
- temps de séjour: 56 jours
- production de biogaz: 104,5 m<sup>3</sup>/j
- abattement: 40% sur MO
- effluents: 6,5 m<sup>3</sup>/j
- coût tout équipé hors groupe électrogène (valeur 1983 actualisée 1991 au taux annuel de 5%): 282 000 F

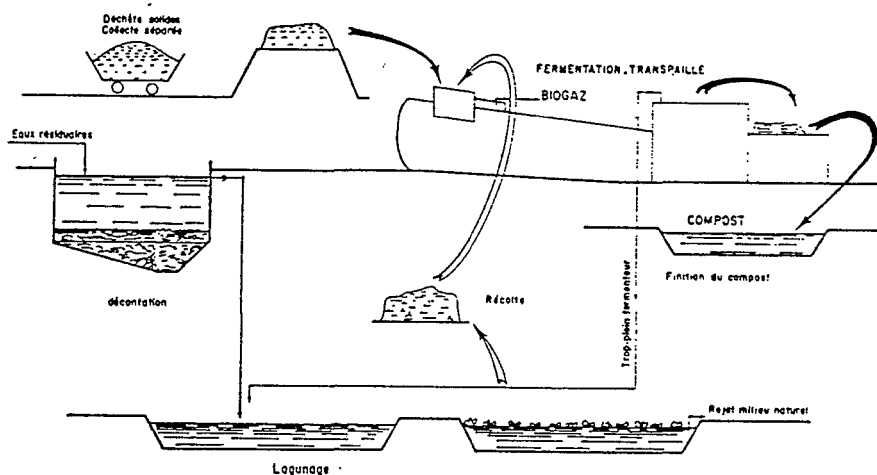
## ETUDE DE CAS

### La voie solide: méthanisation des déchets d'abattoir au Sénégal

(source: Farinet et al, 1991)

Les abattoirs du Sénégal sont gérés par la SERAS, société privée sénégalaise. L'abattoir de la ville de Thiès dispose d'une capacité de 2000 tonnes carcasse/an. Les chambres frigorifiques représentent 90% de la consommation électrique totale de l'abattoir.

En 1989, un projet pilote de méthanisation des déchets a été financé par plusieurs bailleurs de fonds français et exécuté par la société Agriforce. L'essentiel des déchets organiques de l'abattoir est collecté à la source: les excréments sur les parcs d'attente, les matières stercoraires dans la triperie et une partie du sang sur les aires d'abattage. Ces déchets constituaient 84% de la charge organique des eaux résiduaires. Ils sont méthanisés par le procédé continu Transpaille dans un réacteur de 40 m<sup>3</sup> de capacité utile. Les effluents fermentés sont récupérés à l'état solide et constituent un compost après finition. Le biogaz alimente un groupe électrogène de 16 KW équipé d'un moteur à gaz.- L'épuration parallèle des eaux résiduaires est réalisée par un système de lagunage naturel et à macrophytes.



Résultats moyens d'exploitation (1990/91):

- débit traité: 1.5 tonne/j à 15% MS  
220 kg MS/j
- temps de séjour: 20 jours
- production de biogaz: 35.5 m<sup>3</sup>/j
- abattement (par rapport à la situation antérieure, sans tenir compte du lagunage parallèle ): 84% sur MO
- effluent: 700 kg/j
- coût tout équipé hors groupe électrogène (valeur 1989 actualisée 1991 au taux annuel de 5%): 436000 F

La différence de coût est très importante entre les 2 installations pilotes. Lorsque les caractéristiques du sol s'y prêtent, le recours à la fosse anaérobie est très avantageux sur le plan investissement. Il faut cependant remarquer que les conséquences en termes d'épuration et de devenir des effluents sont très différentes pour les 2 voies de méthanisation:

- la voie liquide nécessite un épandage continu des effluents fermentés en aval de l'installation. En absence d'épandage, l'épuration complémentaire de l'effluent, contenant encore 40 g/l de matières organiques, nécessitera le recours à des techniques lourdes de traitement avant rejet dans le milieu naturel;

- la voie solide entraîne la production d'un compost plus facilement stockable et commercialisable; les eaux usées peuvent être traitées parallèlement par un procédé léger, tel que le lagunage, bien adapté sous climat tropical.

### III.3 Conclusions

Malgré un contexte économique difficile, l'agro-industrie devra procéder à l'épuration de ces déchets, surtout en zone péri-urbaine où elle est fortement implantée. Sur la base d'un investissement nécessairement subventionné, la méthanisation doit permettre de réduire les coûts de traitement, de par la substitution du biogaz à des énergies conventionnelles qui pèsent lourdement sur les charges d'exploitation.

Des techniques industrielles de méthanisation, développées par ailleurs, pourraient d'ores et déjà être transférés sur les complexes agro-industriels bénéficiant déjà d'un environnement technologique favorable. Il faut noter que des techniques économiquement controversées dans les pays industrialisés pourraient trouver en zone tropicale un terrain très favorable de développement dans l'attente de jours meilleurs.

La filière viande, de l'élevage intensif aux abattoirs, doit faire l'objet d'une attention particulière de par la charge organique élevée de ses déchets et l'environnement technique et financier qui la caractérisent. En fonction de la nature du sol, des contraintes foncières et des possibilités de valorisation des effluents, 2 voies de méthanisation peuvent être proposées. La voie liquide, utilisant la technique extensive de la fosse anaérobie, permet de produire de l'énergie à moindre coût mais ne résoud pas le problème de pollution si un épandage des effluents méthanisés n'est pas possible en aval. La voie solide procède d'une gestion séparée des déchets solides collectés à la source, puis méthanisés par un procédé à forte charge conduisant à la production d'un compost et permettant ainsi des économies d'eau et l'emploi d'une technique légère d'épuration, de type lagunage.

Enfin, nous ne saurions clore ce paragraphe sans mentionner les perspectives de méthanisation en milieu agro-industriel qui se dégagent plus au Sud. On citera par exemple les déchets

de transformation du manioc, produits en grande quantité en Afrique Centrale et dans le golfe de Guinée et laissent présager d'un fort potentiel énergétique (Cuzin et al, 1991). Dans la même zone, le traitement du café par la voie humide produit d'importantes quantités de pulpe et d'eaux usées bien souvent rejetées dans le milieu naturel sans aucun traitement préalable. La transformation de ces 2 produits agricoles est le fait de petites ou moyennes agro-industries, implantées à proximité des lieux de culture. Leur approvisionnement énergétique est tributaire de moyens de production décentralisés souvent coûteux et susceptibles d'être alimentés facilement au biogaz.

#### IV. CONCLUSION GENERALE

Pour répondre aux enjeux démographiques, le développement des pays du Sud s'accompagnera obligatoirement d'une augmentation des consommations d'énergie et de fertilisants. Pour que cette progression s'effectue en harmonie avec les préoccupations en matière d'environnement, la valorisation agro-énergétique de la biomasse doit réellement être prise en compte dans les politiques à venir.

En Afrique soudano-sahélienne, la méthanisation se positionne favorablement par rapport à la filière sèche, si l'on tient compte de l'absolue nécessité de maintenir le potentiel de production des sols cultivés. Par rapport aux pays industrialisés, le contexte climatique et économique est très favorable au développement de la méthanisation, qui se heurte cependant à un obstacle caractéristique des énergies décentralisées: la rareté du capital et l'accès limité à l'emprunt.

Une installation de méthanisation bien conçue dans un environnement favorable peut fournir pendant plus de 10 ans l'énergie nécessaire à la cuisine, avec des charges d'exploitation extrêmement réduites et un impact direct sur la lutte contre la déforestation.

Reste le problème de l'investissement initial qui n'est pas à la portée des populations, quelque soit le procédé employé. Seul un véritable engagement des Etats concernés pourrait ouvrir le marché à travers des politiques d'aide et de sensibilisation.

Ces considérations de politique globale ne doivent cependant pas masquer certaines réalités. Les conditions "d'environnement favorable" préalablement mentionnées ne sont pas souvent réunies, tant en milieu rural qu'agro-industriel. Le caractère très extensif de l'agriculture ne favorise pas la mobilisation de la biomasse méthanisable, tandis que les industriels sont encore peu confrontés au problème de leurs déchets. Dans cette situation d'attente, la promotion de la méthanisation doit s'axer sur des situations très favorables, même si elles ne sont pas représentatives.

Au niveau des procédés, la priorité accordée par le passé aux technologies adaptées en provenance d'autres pays en développement n'a pas porté ses fruits. L'attention doit être portée sur des techniques étudiées et mise au point en zone soudano-sahélienne. Différents procédés existent et ont fait leurs preuves au stade de la démonstration. Ils répondent chacun à des exigences bien définies sur les plans technique, social et économique. Il conviendrait maintenant de leur accorder le soutien nécessaire en phase de pré-vulgarisation, en y intégrant les aspects fabrication et maintenance par l'artisanat ou l'industrie locale.

## BIBLIOGRAPHIE

Allard J.L., Bertheau Y., Seze O., Drevon J.J., Ganry F., 1982. Ressources en résidus agricoles et potentialités pour le biogaz au Sénégal. Document ISRA/Sénégal.

Cassin P., Bourbon R., Druette L., Mezerette C., Neveu L., Robert Ph., 1991. Bois, énergie et effet de serre: faut'il mettre le turbo sur le résineux. Document interne AFME.

CIEH, 1983. La filière biogaz-compost en Haute Volta, les travaux et réalisation du CIEH. Plaquette CIEH/Ouagadougou.

Cuzin N., Farinet J.L., Segretain C., 1989, Anaerobic fermentation of cassava wastes in a continuous pilot scale fermenter. Biomass for energy and industry, 5th E.C. Conference, Volume 2. Edited by G. Grassi, G. Gosse, G. dos Santos. Elsevier Applied Science, London, pp 2.383-2.387.

Degoulet A., 1984. Pré-vulgarisation de la filière biogaz-compost en milieu rural. Rapport final d'exécution technique, CIEH/Ouagadougou.

Farinet J.L., Sarr P.L., 1989. Rôle du compostage sur le maintien de la productivité d'une culture de mil en zone aride. In: Agronomie et ressources naturelles en régions tropicales. Actes des journées de la DRN, IRAT/CIRAD éditeur.

Farinet J.L., Hurvois Y., Forest F., 1991. Wastes management and processing for energy, fertilizer and pollution control in a tropical slaughterhouse. VIth European Conference "Biomass for energy, industry and environment", Athens/Greece, April 22-26.

Forest F., Lidon B., Farinet J.L., 1984. Installations de production de biogaz à partir de substrats pailleux, choix et conditions de réussite, procédés discontinu et continu. In: Maîtrise de l'énergie et développement, document de travail biogaz. AFME, Ministère de la coopération, GRET éditeurs.

Forest F., Farinet J.L., 1985. Caractéristiques et performances de l'équipement Transpaille biogaz-compost-petite motorisation. Principaux résultats du programme biomasse-énergie en Afrique. Rapport du contrat cadre IRAT-CIRAD/AFME.

Henning R., 1984. Installation de biogaz dans un centre d'embouche bovin en Côte d'Ivoire. In: Maîtrise de l'énergie et développement, document de travail biogaz. AFME, Ministère de la coopération, GRET éditeurs.

Mustin M., 1987. Le compost. Gestion de la matière organique - Editions François Dubusc/Paris.

Pichot J., Sedogo M.P., Poulain J.F., Arrivets J., 1981. Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence de fumures minérales et organiques. In: L'agronomie tropical XXXVI, 2, pp 122-133.

Pieri C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de 30 ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara - Ministère de la Coopération et CIRAD/IRAT éditeurs.

Réseau ESPAGE, 1991. Evaluation de la production agricole en fonction du climat et de l'environnement. Actes de l'atelier d'agroclimatologie opérationnelle du CNRA Bambey. IRAT/CIRAD éditeur.

SAED/AGRIFORCE, 1991. Programme Irrigation IV, volet "Energie, matière organique", évaluation de la 1ère phase. Document interne.

SEMA énergie, 1985. Stratégie de coopération française dans le domaine de la biomasse. Ministère des relations extérieures, coopération et développement.

SERAS/AGRIFORCE, 1991. Valorisation agro-énergétique des déchets d'abattoir en zone tropicale. Actes de l'atelier tenu à Thiès/Sénégal du 04 au 06 Novembre 1991. Sous presse.